Departement für Innere Medizin und Chirurgische Klinik A
der Universität Zürich, Schweiz
(Arbeit unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H. P. Krayenbühl)

Simultane Bestimmung linksventrikulärer Dimensionen, Volumina und Funktionsgrössen beim Hund mittels Cineangiographie und Echokardiographie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

Hans-Heinrich Brunner
von **Olten/SO**

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. W. Siegenthaler

ZÜRICH 1977

Druck: Offset + Buchdruck AG, Zürich

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507210_0011

Departement für Innere Medizin und Chirurgische Klinik A
der Universität Zürich, Schweiz
(Arbeit unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H. P. Krayenbühl)

Simultane Bestimmung linksventrikulärer Dimensionen, Volumina und Funktionsgrössen beim Hund mittels Cineangiographie und Echokardiographie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

Hans-Heinrich Brunner
von Olten/SO

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. W. Siegenthaler

ZÜRICH 1977

Druck: Offset + Buchdruck AG, Zürich


UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1. Einleitung

Die Echokardiographie hat in den letzten Jahren eine breite klinische Anwendung gefunden. Neben der qualitativen Diagnostik kardialer Erkrankungen ermöglicht die Ultraschallmethode auch eine nichtinvasive, kontinuierliche und quantitative Bestimmung der linksventrikulären Dimensionen und davon ausgehend die Berechnung von linksventrikulären Volumina und Funktionsgrössen wie z.B. der circumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit und der Auswurffraktion (5, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 25).

Verschiedene Autoren haben die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit mittels 1-Strahl-Echokardiographie gewonnener Messungen überprüft (5, 8, 10, 12, 18, 19, 21, 28, 30). Als Vergleichsmethode wurde immer die Cineangiokardiographie verwendet. Allen diesen Vergleichsstudien haftet aber der Mangel der Nichtsimultaneität an. Ueberdies ergibt die unzureichende statistische Datenauswertung in verschiedenen Studien (5, 7, 8, 19) ein zu optimistisches Bild bezüglich der Genauigkeit echokardiographischer Messungen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist deshalb der Vergleich simultan echo- und angiokardiographisch gemessener linksventrikulärer Dimensionen, Volumina und Funktionsparameter. Die Untersuchungen wurden am Hund durchgeführt, da simultane Messungen beim Menschen technisch ausserordentlich schwierig sind und akute hämodynamische Veränderungen grösseren Ausmasses, welche für einen Vergleich über einen weiten Messbereich notwendig sind, sich nur im Experiment erzielen lassen.

2. Methodik

2.1. Versuchstiere

Die Studie umfasst 6 Hunde (Gewicht 19-27 kg). Anatomisch besteht beim Hund kein sog. "Ultraschallfenster", d.h. das ganze Herz

ist von Ultraschall stark absorbierendem Lungengewebe überdeckt. Diese Schwierigkeit wurde durch eine 7-10 Tage vor dem eigentlichen Experiment angelegte Perikardiopexie (freundlicherweise durchgeführt durch Herrn PD Dr. M. Turina, Chirurgische Klinik A, Kantonsspital Zürich), mit deren Hilfe ein dem Menschen vergleichbares "Ultraschallfenster" erzeugt wurde, umgangen.

2.2. Echokardiographiegerät

Für die Experimente stand die 1-Strahl-Einheit eines von Bom und Mitarbeitern (2, 16) entwickelten Multi-System-Echokardiographen (ECHOCARDIOVISOR, Organon Teknika, Oss, Holland) zur Verfügung. Das Gerät weist folgende technische Daten auf: Trägerfrequenz 2,25 MHz, Pulsdauer 1 µsec, Pulsfrequenz 1024 Impulse/sec, max. Eindringtiefe 16 cm. Die verwendeten Transducer hatten einen Durchmesser von 1,4 cm und waren auf eine Eindringtiefe von 7,5 cm fokussiert. Die Verstärkung konnte in 5 voneinander unabhängigen Teilbereichen selektiv gesteuert werden. Die Echos wurden von einem strip-chart-Schreiber (Honeywell-Visicorder) nach dem M-Mode-Verfahren (9, 13) mit einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/sec aufgezeichnet. Für das EKG sowie 3 weitere Parameter standen separate Eingänge zur Verfügung. Sie dienten der Aufzeichnung der Aortendruckkurve und des intrakardialen Phonokardiogramms (vgl. unten).

2.3. Versuchsanordnung und Versuchsprotokoll

Nach Narkoseeinleitung mit Thiopental i.v. wurden die Tiere intubiert, mit Alloferin® (initial 10 mg i.v.) relaxiert und mit einem Sauerstoff-Luftgemisch 1:1 beatmet. Die Narkose wurde durch regelmässige Gaben von Chloralose aufrecht erhalten. Nach Präparation der Femoralgefässe und Kanülierung der V. femoralis mit einem Lehmann-Katheter F10 wurden in die Aa. femorales ein roter Oedman-Katheter sowie ein Telco-Spitzenmanometer-Katheter F8, der die gleichzeitige Registrierung von Druck und Phonogramm gestattete, eingeführt und

in den linken Ventrikel bzw. die Aorta ascendens vorgeschoben.

Die Experimente erfolgten in linker Seitenlage des Hundes. Die Strahlrichtungen von Röntgen und Ultraschall wurden so gewählt, dass sich die dargestellten Schnittebenen möglichst entsprachen: Die monoplane linksventrikuläre Cineangiokardiographie wurde in steiler Fechterposition, die echokardiographische Untersuchung entsprechend in Boxerprojektion durchgeführt, wobei die Richtung des Ultraschallstrahles nicht mehr als 15^{o} von der Orthogonalen zur Röntgenstrahlrichtung abwich.

Die echokardiographische Untersuchungstechnik lehnte sich an die von anderen Autoren (9, 12, 13, 30) angegebenen Richtlinien an: Aufsuchen der vorderen Mitralklappe; dann, durch leichte Rotation des Ultraschallkopfes nach lateral und kaudal, auch der hinteren Mitralklappe; in der Folge Durchschallung möglichst des ganzen linken Ventrikels durch systematisch von medial nach lateral aufeinanderfolgende kranio-kaudale Sektorbewegungen; Fixieren des Ultraschallkopfes mittels einer Halterung bei Durchschallung eines maximalen Innendurchmessers, welcher Sehnenfadenechos (kenntlich an ihrer rudimentären Mitralklappendynamik) aber keine Papillarmuskelechos (9, 13) beinhaltete. Mittels einer intrakavitären "Echowolke", ausgelöst durch die linksventrikuläre Injektion von Indocyaningrün (7) oder Kontrastmittel (vgl. Abb. 1) wurden die endokardialen Begrenzungen des linken Ventrikels genau definiert.

Für die simultan mit den echokardiographischen Aufzeichnungen in Apnoe durchgeführte Cineangiokardiographie wurden jeweils 20-45 ml Urographin ® (Flussrate 18-28 ml/sec) mittels einer EKG-gesteuerten Injektionspumpe (Contrac, Siemens) in den linken Ventrikel injiziert (vgl. Abb. 2). Die Filmgeschwindigkeit betrug 75 Bilder/sec. Zur Kalibration der linksventrikulären Cineangiokardiogramme wurde am Ende des Experimentes ein Raster mit Quadraten von 1x1 cm in Höhe des Herzschwerpunktes gefilmt.

Die echoangiokardiographischen Vergleichsmessungen sollten einen möglichst grossen Bereich kardialer Funktionszustände umfassen, weshalb folgende akute hämodynamische Veränderungen vorgenommen wurden: Durch stufenweise Infusion eines Plasmaexpanders (Physiogel®) bis zu 1000 ml wurde eine Preloaderhöhung durch Gabe von Noradrenalin (bis zu 16 µg/min) eine vorwiegende Afterloaderhöhung erzielt. Die Inotropie wurde durch Verabreichung von Isuprel (1,5-3,0 µg/min) gesteigert.

Die Richtung des Ultraschallstrahles wurde am Ende des Experimentes überprüft, indem eine lange Nadel in Verlängerung der Längsachse des Ultraschallkopfes durch das noch schlagende Herz gestossen wurde. In der Regel lag die Eintrittsstelle in den linken Ventrikel an der medialen Vorderwand, die Austrittsstelle im hinteren Abschnitt der Lateralwand des linken Ventrikels.

2.4. Datenauswertung

Von 53 Vergleichsmessungen optimaler echo- und angiokardiographischer Qualität wurden 79 Herzzyklen (pro Messung 1 Normalschlag und, sofern vorhanden, zusätzliche Extrasystolen) ausgewertet. Die Zuordnung der sich entsprechenden echo- und angiokardiographischen Herzzyklen war aufgrund der "Echowolke" ohne weitere Identifikationsmerkmale möglich.

Die linksventrikulären Cineangiogramme wurden nach an anderer Stelle (27, 3) angegebener Methodik ausgewertet.

Der in der Studie angestrebte Vergleich umfasste drei Teile:

1. Einen Vergleich der mittels Echo- und Angiokardiographie in Richtung des Ultraschallstrahles gemessenen, stereometrisch sich entsprechenden Dimensionen. Durch diesen Vergleich sollte die Genauigkeit der echokardiographischen Dimensionsmessung überprüft werden.
2. Einen Vergleich der aufgrund der echokardiographischen Dimensionen berechneten Volumina.
3. Einen Vergleich zweier aufgrund der echokardiographischen Di-

mensionen berechneter linksventrikulärer Funktionsparameter, nämlich der Auswurffraktion (EF) und der mittleren systolischen circumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit (V_{CF}).

Durch den Vergleich der Volumina wie auch der linksventrikulären Funktionsparameter sollten die im Rahmen der biologischen Applikation entstehenden Fehler analysiert werden.

Die Dimensionsvergleiche umfassten folgende Parameter:

- $D_{ED}A$ und $D_{ES}A$: Angiokardiographisch bestimmter enddiastolischer und endsystolischer Durchmesser des linken Ventrikels in Richtung des Ultraschallstrahles.
- $D_{ED}E$ und $D_{ES}E$: Echokardiographisch bestimmter, enddiastolischer (zum Zeitpunkt der R-Spitze im EKG) und endsystolischer (zum Zeitpunkt der aortalen Komponente des 2. Tones) Durchmesser.

Volumina:

- Angiokardiographisch wurde das enddiastolische Volumen (EDV_A) und das endsystolische Volumen (ESV_A) nach der von Bentivoglio et al. (1) angegebenen Formel

$$V\ (ml) = \left[(\pi/6 \cdot L \cdot M^2) \cdot 0{,}78\right] + 2{,}6 \quad (V = \text{Volumen})$$

  berechnet, wobei M (enddiastolisch $M_{ED}A$, endsystolisch $M_{ES}A$) die quere, den vom aortomitralen Winkel zur Herzspitze eingezeichneten langen Durchmesser (L) als Mittelsenkrechte halbierende Achse darstellt (3, 6, 27).
- Echokardiographisch wurden die Volumina nach der sog. "Kubikformel" (8, 9) ermittelt:

$$\text{enddiastolisches Volumen } EDV_E\ (ml) = (D_{ED}E)^3 \cdot 1{,}05$$
$$\text{endsystolisches Volumen } ESV_E\ (ml) = (D_{ES}E)^3 \cdot 1{,}05$$

Linksventrikuläre Funktionsparameter:

a) Auswurffraktion

Die Auswurffraktion wurde angiokardiographisch (EF_A) und echokardiographisch (EF_E) nach der Formel

$$EF\ (\%) = \frac{(EDV - ESV) \cdot 100}{EDV}$$

bestimmt.

b) Mittlere systolische circumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit:
Die mittlere systolische circumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit wurde echokardiographisch nach der Formel

$$V_{CF}E \text{ (circ/sec)} = \frac{(D_{ED}E - D_{ES}E)}{D_{ED}E \cdot ET}$$

errechnet.

Angiokardiographisch wurde die mittlere systolische circumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit sowohl in Richtung des Ultraschallstrahles ($V_{CF}AD$) als auch aufgrund des standardisierten queren Durchmessers ($V_{CF}A$) errechnet:

$$V_{CF}AD \text{ (circ/sec)} = \frac{(D_{ED}A - D_{ES}A)}{D_{ED}A \cdot ET}$$

$$V_{CF}A \text{ (circ /sec)} = \frac{(M_{ED}A - M_{ES}A)}{M_{ED}A \cdot ET}$$

ET entsprach der systolischen Austreibungszeit, welche aus der Aortendruckkurve bestimmt wurde.

3. Ergebnisse (vgl. Tab. 1)

3.1. Dimensionsvergleich

Der Vergleich der echokardiographischen mit den in Strahlrichtung bestimmten angiographischen Dimensionen zeigte keine systematische Abweichung. Bei einem Korrelationskoeffizienten (r) = 0.95 (SEE = 0.25 cm) lagen enddiastolisch 68 von 79, endsystolisch, bei einem r von 0.87 (SEE = 0.38 cm) 53 von 79 Werten innerhalb der ± 10 % Fehlergrenzen (Abb. 3 und 4). Der Vergleich mit den stadardisierten angiokardiographischen Achsen $M_{ED}A$ und $M_{ES}A$ führte zu einer deutlich schlechteren Korrelation von r = 0.54 (SEE = 0.65 cm) enddiastolisch und r = 0.46 (SEE = 0.69 cm) endsystolisch. Nur 37 bzw. 22 Werte lagen innerhalb der ± 10 % Fehlergrenze (Abb. 5 und 6).

3.2. Volumenvergleich

Echokardiographisch wurden enddiastolisch wie endsystolisch

kleine Volumina unterschätzt und grosse Volumina überschätzt. Trotz Korrelationskoeffizienten von 0.75 (SEE = 30 ml) enddiastolisch und von 0.66 (SEE = 17 ml) endsystolisch lagen nur 14 bzw. 13 Werte innerhalb der ± 25 %, hingegen 37 bzw. 35 Werte jenseits der ± 50 % Fehlerschranken (Abb. 7 und 8).

3.2.1. Ueberprüfung der Hypothese L/2 = M

Der sogenannten Kubikformel zur echokardiographischen Volumenberechnung liegt die Annahme zu Grunde, dass der quere Durchmesser des linken Ventrikels der Hälfte der langen Achse (M = L/2) entspricht. Enddiastolisch bestand zwischen L/2 und $M_{ED}A$ eine Korrelation von r = 0.70 (SEE = 0.93 cm), endsystolisch mit $M_{ES}A$ gar nur von r = 0.45 (SEE = 0.79 cm).

Von Teichholz et al. (29) wurde empfohlen, die v.a. bei volumenbelastetem linkem Ventrikel von der Beziehung M = L/2 auftretenden Abweichungen durch eine Regressionsformel zu korrigieren. Diese Regressionsformel betrug in unseren Daten $\frac{1}{L/M} = 0.472 + 0.0379 \cdot D_E$ und zeigte einen Korrelationskoeffizienten von nur r = 0.39.

3.3. Vergleich der linksventrikulären Funktionsparameter

Die EF wurde echokardiographisch systematisch überschätzt. Bei einem Korrelationskoeffizienten von 0.74 (SEE = 12 %) lagen 44 von 79 Werten innerhalb der ± 20 % Fehlergrenzen (Abb. 9).

Die $V_{CF}AD$ zeigte mit der $V_{CF}E$ eine befriedigende Uebereinstimmung (Abb. 10); ohne systematischen Fehler betrug r = 0.83 (SEE = 0.36 circ/sec) mit 53 von 79 Werten innerhalb der ± 20 % Fehlerschranken. Ein Vergleich der $V_{CF}E$ mit der $V_{CF}A$ (Abb. 11) zeigte bei einer leichten systematischen Ueberschätzung durch die Echokardiographie einen Korrelationskoeffizienten von 0.75 (SEE = 0.43 circ/sec).

4. Diskussion

Entsprechend dem in den letzten Jahren wachsenden klinischen Interesse an quantitativen, nichtinvasiven und wiederholt

messbaren Parametern zur Beurteilung der linksventrikulären Funktion haben verschiedene Arbeitsgruppen versucht, linksventrikuläre Volumina und Kontraktilitätsparametern mit Hilfe der 1-Strahl-Echokardiographie zu bestimmen (5, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29). Als Vergleichsmethode wurde immer die Angiokardiographie gewählt. Tabelle 2 gibt einen Ueberblick über die bisherigen wesentlichen Arbeiten, die sich mit einem Vergleich echo- und angiokardiographisch gemessener linksventrikulärer Grössen befassten. Alle diese Untersuchungen wurden am Menschen durchgeführt. Experimentelle Untersuchungen am Hund fehlen bis jetzt, wohl nicht zuletzt deswegen, weil beim Hund die ganze Herzvorderwand von Lungengewebe überdeckt ist, das die Ultraschallenergie ausserordentlich stark absorbiert (30). In unseren Experimenten wurde diese Schwierigkeit durch die Anlage eines künstlichen "Ultraschallfensters" mittels einer 7 bis 10 Tage vor den Messungen angelegten Cardiopexie umgangen. Ein weiterer Unterschied zum Menschen besteht darin, dass der Ultraschallstrahl beim Hund nicht durch das Septum, sondern durch die Herzvorderwand in den linken Ventrikel eintritt. Entspricht beim Menschen die Durchtrittsstrecke durch den linken Ventrikel eher einer Sekante (chord length) (5), so stimmt sie beim Hund eher mit dem queren Durchmesser des Ventrikelellipsoids überein.

Von keinem der Autoren wurde ein Vergleich zwischen den echokardiographischen und den in Strahlrichtung des Ultraschalls gemessenen angiokardiographischen Dimensionen gemacht, welcher Aufschluss über die technische Genauigkeit des verwendeten Echokardiographiegerätes gibt. Der entsprechende Vergleich unserer Daten zeigt, dass in der Applikation der Echokardiographie auftretende Messfehler nur zu einem geringen Teil ultraschalltechnisch erklärt werden können. So zeigten die angio- und echokardiographisch in Schallrichtung bestimmten Durchmesser enddiastolisch

eine Korrelation von r = 0.95 (SEE = 0.25 cm) und endsystolisch von r = 0.87 (SEE = 0.38 cm). Enddiastolisch lagen bei symmetrischer Verteilung 11,endsystolisch 26 Werte ausserhalb der ± 10 % Fehlerschranken. Die endsystolisch geringere Messgenauigkeit wurde von anderen Autoren (8, 10, 19, 29) beobachtet. Sie ist durch die endsystolisch grössere Trabekulierung des linken Ventrikels mit entsprechend zerklüfteterer endokardialer Oberfläche zu erklären.

Eine erheblich schlechtere Uebereinstimmung ergab sich beim Vergleich der Ultraschalldimensionen mit den standardisierten angiokardiographischen Dimensionen. So betrug der Korrelationskoeffizient enddiastolisch r = 0.54, endsystolisch gar 0.46. Ein Vergleich mit der Literatur ist auch hier nur in beschränktem Umfange möglich; so fanden Fortuin et al. (10) eine Korrelation von r = 0.87 enddiastolisch bzw. r = 0.85 endsystolisch. Trotz gegenüber unserem Datenkollektiv erheblich besseren Korrelationskoeffizienten entsprach der standard error of estimate (SEE) mit 0.51 cm enddiastolisch und 0.57 cm endsystolisch durchaus unseren Werten. Pombo et al. (21) fanden enddiastolisch und endsystolisch Korrelationskoeffizienten von je r = 0.97. Eine vergleichende Analyse ist aber wegen einer fehlenden statistischen Auswertung nicht möglich.
Der Korrelationskoeffizient als massgebliches Beurteilungskriterium scheint ohnehin sehr fraglich, weil er vom umfassten Wertbereich abhängig ist (26). Dies gilt noch mehr für die echokardiographischen Volumenmessungen, deren günstige Beurteilung in den zitierten Arbeiten sich im wesentlichen auf gute Korrelationskoeffizienten stützt. Die von uns angiokardiographisch gemessenen linksventrikulären Volumina lagen in einem Wertbereich von ca. 200 ml. Die meisten zitierten Studien beinhalten Volumina bis zu 700 ml. So dürfte die effektive Genauigkeit unserer Volumen-

messungen auch bei Korrelationskoeffizienten von enddiastolisch $r = 0.75$ und endsystolisch $r = 0.66$ mit derjenigen anderer Studien, die höhere Korrelationskoeffizienten angeben (8, 10, 12, 18, 19) vergleichbar sein. Nur ten Cate und Mitarbeiter (29) haben in einem vergleichbaren Volumenbereich (enddiastolisch 49 bis 280 ml, endsystolisch 15 bis 187 ml), ebenfalls mit der Kubikformel, eine wesentlich bessere Uebereinstimmung erzielt.

Das etwas optimistische Bild ändert sich aber, wenn - leider ist dies in keiner der vorliegenden Studien geschehen - die prozentuale Abweichung von den angiokardiographischen Werten in Betracht gezogen wird: So wichen von 79 Werten enddiastolisch 31, endsystolisch 33 Werte mehr als 50 % von den angiokardiographischen Volumenwerten ab.

Auch unsere Resultate lassen die von andern Autoren (7, 9, 19, 28) beobachtete systematische Ueberschätzung grosser bzw. Unterschätzung kleiner Volumina durch die Kubikformel erkennen. Einzelne Autoren, so z.B. Murray et al. (19) haben diese Schwierigkeit durch Berechnung einer Regressionsformel zu umgehen versucht. In gleicher Richtung zielt die von Teichholz et al. (28) angegebene, ebenfalls auf einer Regressionsformel fussende, Volumenberechnung.

Unsere Resultate untermauern die von mehreren Autoren (17, 25, 28) kürzlich geübte Kritik an linksventrikulären Volumenmessungen mittels 1-Strahl-Echokardiographie. Dies umso mehr, als die vorliegenden Vergleichsmessungen im Gegensatz zu den bisherigen Studien simultan durchgeführt wurden. Die Simultaneität der Vergleichsmessungen ist von entscheidender Bedeutung, da Verschiebungen der Herzfrequenz, des Pre- und Afterloads, der Inotropie sowie Kontrastmitteleffekte im Verlaufe von sequentiellen Messungen auch kurzfristig zu Veränderungen der Ventrikeldimensionen führen können.

Die unserer Auffassung nach entscheidenden Gründe, die die erheblichen Messfehler der echokardiographischen Volumenmessung er-

klären, seien nachfolgend diskutiert:

1. Der Vergleich des echokardiographischen Durchmessers mit der standardisierten queren Achse zeigt, dass die in die Volumenberechnung eingehende, den kurzen Durchmesser eines Rotationsellipsoids repräsentierende quere Achse echokardiographisch nicht identifiziert werden kann. Bei einer Korrelation von r = 0.54 enddiastolisch bzw. r = 0.46 endsystolisch lagen nur 37 bzw. 22 von 79 Werten innerhalb der ± 10 % Fehlergrenzen.
2. Wesentliche Annahme der sog. Kubikformel ist, dass der echokardiographische Durchmesser nicht nur der standardisierten queren Achse ($M_{ED}A$ und $M_{ES}A$) sondern auch der Hälfte der Ventrikellängsachse (L) entspricht. Diese Hypothese muss aber aufgrund der schlechten Korrelation zwischen querer und halber Längsachse von nur r = 0.70 enddiastolisch und r = 0.45 endsystolisch zumindest für unsere Resultate sehr in Frage gestellt werden. Diese Skepsis gilt aber ebenso für den, v.a. volumenbelasteten linken Ventrikel des Menschen (6, 17, 28). Die aus unseren Daten in Anlehnung an Teichholz (28) errechnete Regressionsformel ($\frac{1}{L/M} = 0.472 + 0.0379 \cdot D_E$)zeigte einen Korrelationskoeffizienten von nur r = 0.39, sodass von dieser Korrektur keine wesentliche Verbesserung der echokardiographischen Volumenberechnung erwartet werden kann. Unmöglich erscheint eine echokardiographische Volumenmessung an dyskinetischen linken Ventrikeln (18).
3. Der starr auf der Thoraxwand plazierte Ultraschallkopf erfasst die während des Herzzyklus auftretende Lageänderungen des Herzens nicht. Die echokardiographisch für die Diastole optimal eingestellte Schallrichtung kann deshalb endsystolisch nicht optimal sein. Es werden so nicht korrespondierende myokardiale Segmente erfasst, was sich auch auf die Bestimmung der V_{CF} (s. unten) negativ auswirkt.

Aufgrund unserer Resultate wie auch der oben zusammengefassten Ueberlegungen, scheint die Bestimmung linksventrikulärer Volumina

mittels 1-Strahl-Echokardiographie nicht möglich. Die neuen zweidimensionalen Echokardiographietechniken, wie sie Multielementgeräte (2, 16, 24), Sector-Scanner (11, 13, 14) und EKG gesteuerte B-Bildverfahren (13) verwirklichen, eröffnen aber neue Perspektiven der Volumenmessung. Eine abschliessende Beurteilung ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich; auch haben die zitierten Geräte bis jetzt noch keine wesentliche klinische Anwendung gefunden.

Die Auswurffraktion (EF) und die mittlere systolische circumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (V_{CF}) haben als linksventrikuläre Funktionsparameter breite klinische Anwendung gefunden, nicht zuletzt ihrer einfachen, aus jedem routinemässig durchgeführten Lävogramm errechenbaren Bestimmungen wegen. Obschon bei der Berechnung der EF sich gewisse Fehler der zugrunde liegenden Absolutvolumina gegenseitig aufheben, zeigte die echokardiographische bestimmte EF jedoch eine systematische Ueberschätzung der simultan angiographisch bestimmten Werte. Bei einem Korrelationskoeffizienten von r = 0.74 (SEE = 12 %) lagen nur 44 Werte innerhalb der ± 20 % Fehlergrenzen. Erhebliche Bedenken scheinen demnach auch der echokardiographischen Bestimmung der EF gegenüber angebracht.

Geeigneter erscheint die V_{CF} in Strahlrichtung, lagen doch hier bei einer Korrelation von r = 0.83 (SEE = 0.36 circ/sec) nur 26 der 79 Werte ausserhalb der ± 20 % Fehlergrenzen. Auch war ein systematischer Fehler nicht nachzuweisen. Allerdings ist mit diesem Parameter nur die Beurteilung eines isolierten myokardialen Segmentes möglich, welches meistens von der queren Ellipsoidachse deutlich abweicht. Ein umfassenderes Bild vermag nur ein systematisches Scanning mit Bestimmung mehrerer V_{CF}-Werte zu vermitteln. Dies gilt vor allem wiederum für Erkrankungen mit inhomogener myokardialer Kontraktilität wie z.B. der koronaren Herzkrankheit.

Zusammengefasst zeigen unsere Resultate, dass eine Messung linksventrikulärer Volumina mittels 1-Strahl-Echokardiographie unter Verwendung der Kubikformel mit hoher Fehlerquote belastet ist, und untermauern damit die jüngst von anderer Seite angebrachte Kritik (17, 25, 28). Eine beschränkte Aussage über die Funktion des linken Ventrikels kann mit den echokardiographisch bestimmten Auswurfparametern EF und V_{CF} gemacht werden, wobei grössere Zurückhaltung bei der Anwendung der EF gegeben ist.

Zusammenfassung:

Durch simultane echo- und angiokardiographische Messung an 6 Hunden, bei denen vorgängig mittels Cardiopexie ein künstliches Ultraschallfenster geschaffen worden war, wurde die echokardiographische Messgenauigkeit von Dimensionen, Volumina und Funktionsparameter (EF, V_{CF}) überprüft. Zeigten die in Strahlrichtung des Ultraschallstrahles gemessenen Dimensionen eine gute Uebereinstimmung [enddiastolisch r = 0.95 (SEE = 0.25 cm) mit 68 bzw. endsystolisch r = 0.87 (SEE = 0.38 cm) mit 53 Werten innerhalb der ± 10 % Fehlergrenze], so traten bei der Berechnung der Volumina unter systematischer Ueberschätzung durch die E massive Fehler [E enddiastolisch r = 0.75 (SEE = 30.3 ml) mit nur 14 bzw. endsystolisch r = 0.66 (SEE = 16.9 ml) mit 13 Werten innerhalb der ± 25 % Fehlergrenze] auf, die auch nach Berechnung einer Regressionsformel nicht korrigiert werden konnten. Bei ebenfalls systematischer Ueberschätzung durch die Echokardiographie zeigte die EF eine Korrelation von r = 0.74 (SEE = 11.6 %). Eine bessere Uebereinstimmung fand sich beim Vergleich der mittleren systolischen zirkumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit V_{CF} in Strahlrichtung (r = 0.83, SEE = 0.36 circ/sec): Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Bestimmung linksventrikulärer Volumina mittels 1-Strahl-Echokardiographie nicht möglich ist. Hingegen lässt sich die Funktion des linken Ventrikels mittels der echokardiographisch bestimmten Auswurfparameter EF und V_{CF} beurteilen.

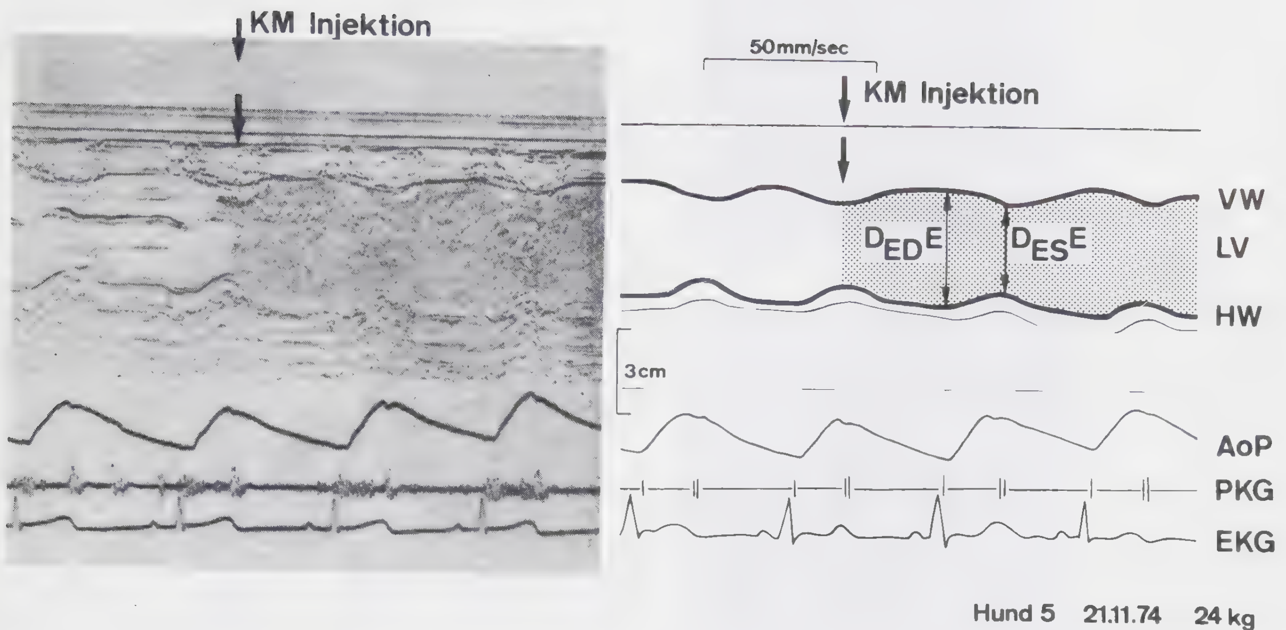


Abb. 1: Echokardiographische Darstellung des linken Ventrikels mittels 1-Strahl-Echokardiographie (links Originalkurve, rechts schematisierte Skizze dieser Originalkurve). Die Injektion von Kontrastmittel (Pfeil) führt zu diffus verteilten, körnigen Echos im Bereiche des ganzen linken Ventrikels (sog. "Echowolke").

$D_{ED}E$: maximaler enddiastolischer Durchmesser in Strahlrichtung zum Zeitpunkt der R-Zacke im EKG

$D_{ES}E$: Maximaler endsystolischer Durchmesser in Strahlrichtung zum Zeitpunkt der aortalen Komponente des 2. Tones.

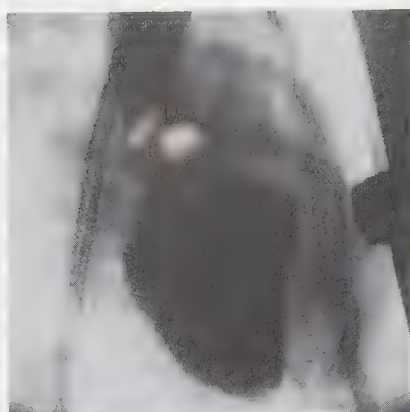
VW : Vorderwand

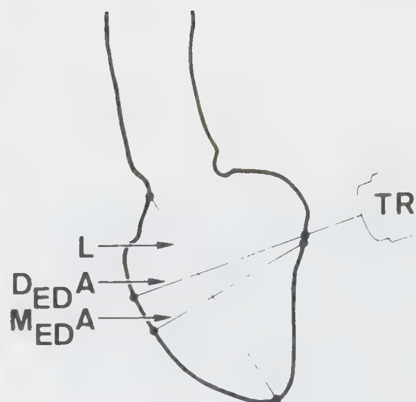
HW : Hinterwand

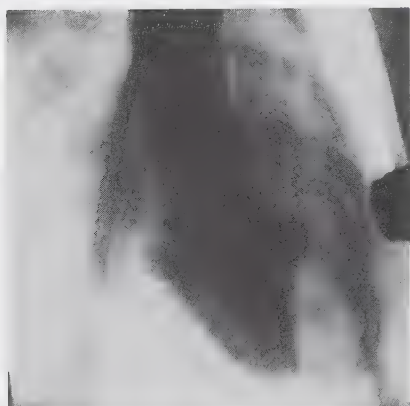
AoP : Druckkurve in der Aorta ascendens

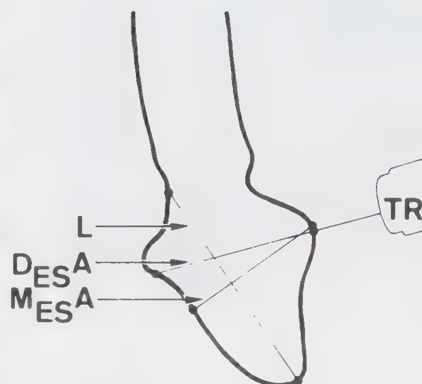
PKG : Phonokardiogramm

EKG : Elektrokardiogramm









Hund 5 21.11.74 24 kg

Abb. 2: Linksventrikuläre Angiogramme enddiastolisch (oben) und endsystolisch (unten) mit Kontur des Ultraschallkopfes (TR) am rechten Bildrand. Die dargestellten Ventrikulogramme entsprechen zeitlich dem in Abb. 1 mit $D_{ED}E$ (enddiastolisch) und $D_{ES}E$ (endsystolisch) markierten, echokardiographisch dargestellten Herzzyklus.

$M_{ED}A$ und $M_{ES}A$: Angiographisch bestimmte, standardisierte, die Längsachse (L) als Mittelsenkrechte, halbierende enddiastolische und endsystolische Querachse.

$D_{ED}A$ und $D_{ES}A$: Angiographisch bestimmte, enddiastolisch bzw. endsystolische Querachse in Richtung des Ultraschallstrahles.

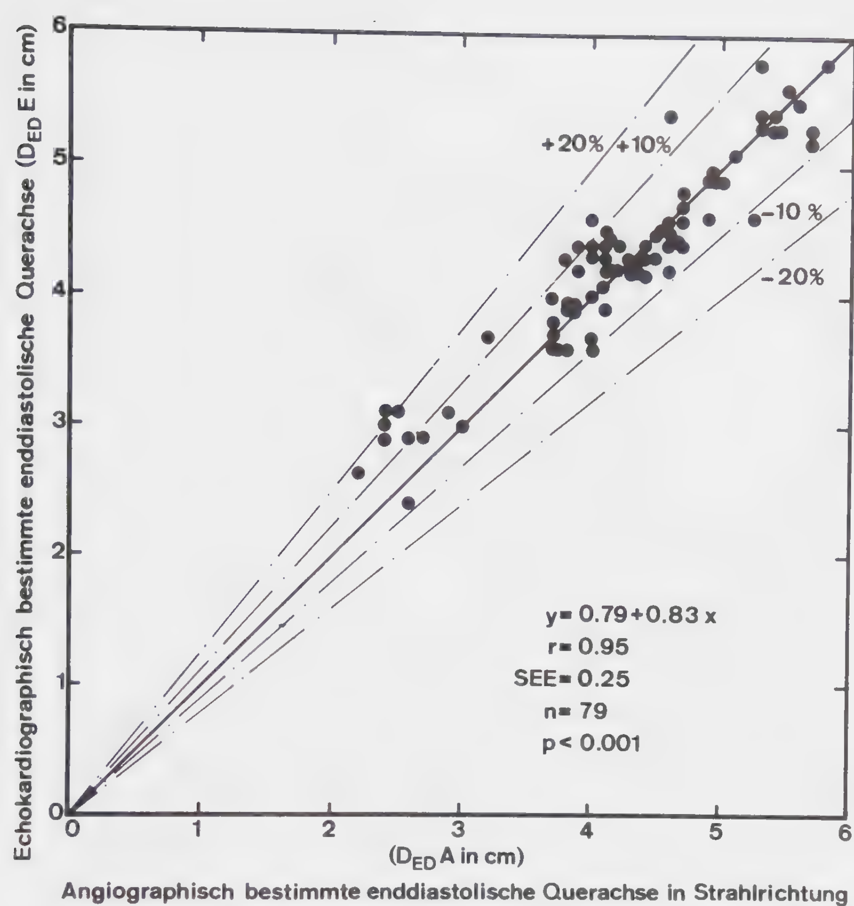


Abb. 3: Vergleich der echokardiographisch ($D_{ED}E$) und angiokardiographisch in Strahlrichtung ($D_{ED}A$) bestimmten enddiastolischen Durchmesser.

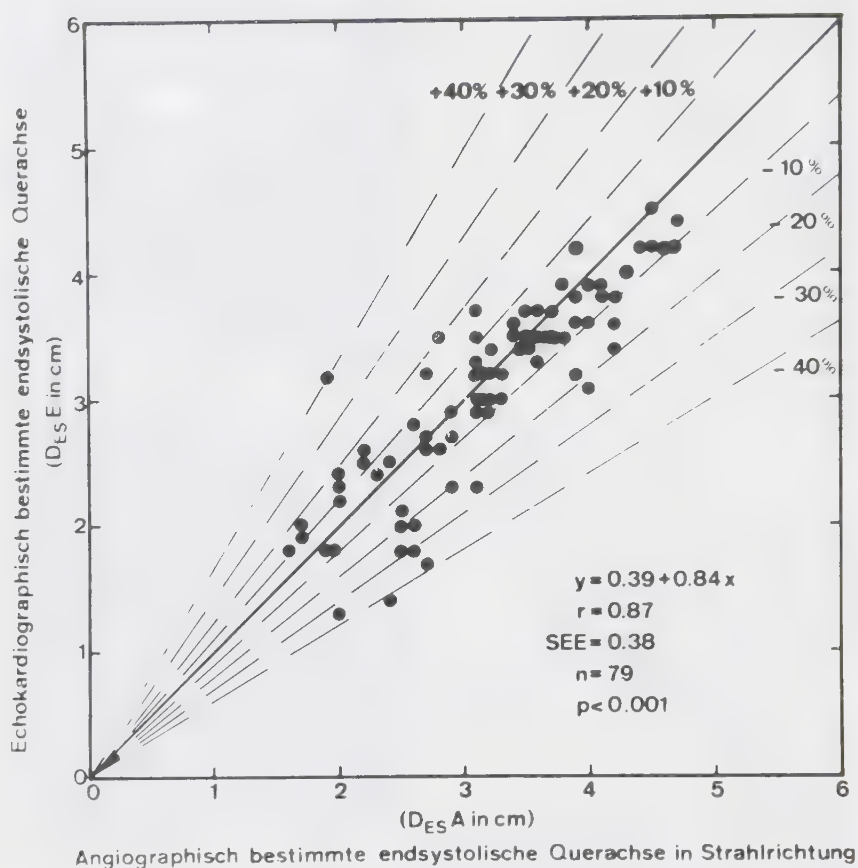


Abb. 4: Vergleich der echokardiographisch ($D_{ES}E$) und angiokardiographisch in Ultraschallrichtung ($D_{ES}A$) bestimmten endsystolischen Durchmesser.

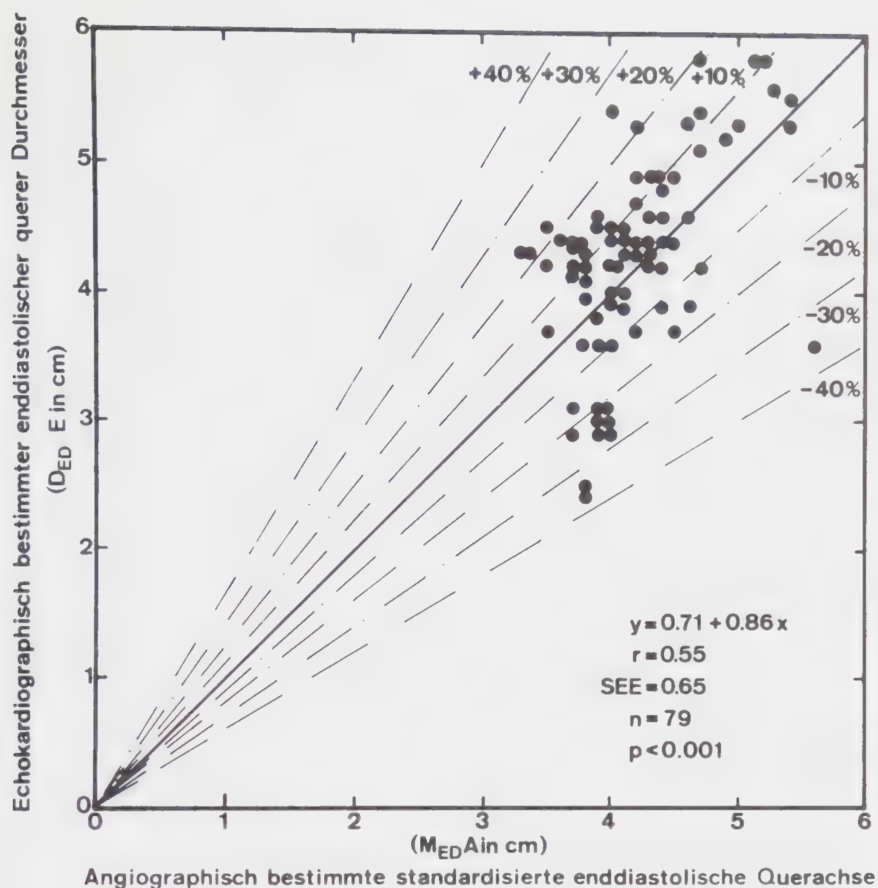


Abb. 5: Vergleich des enddiastolischen, echokardiographischen Durchmessers (D_{ED}E) mit der enddiastolischen, standardisierten angiokardiographischen Querachse M_{ED}A.

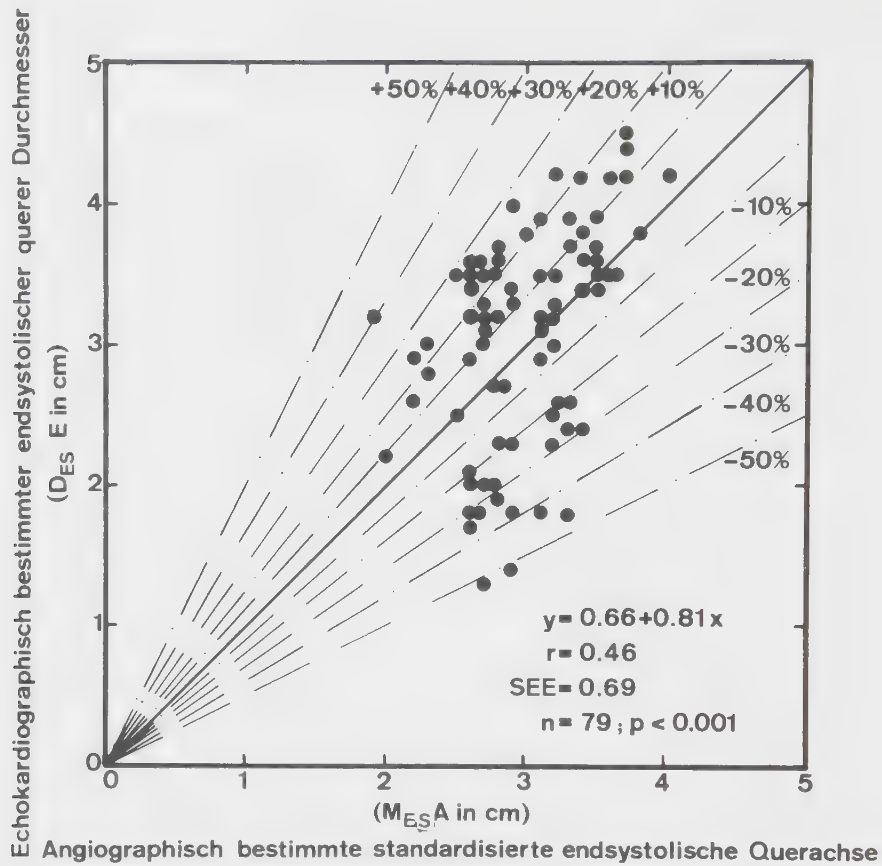


Abb. 6: Vergleich des endsystolischen echokardiographischen Durchmessers $D_{ES}E$ mit der standardisierten endsystolischen angiokardiographischen Querachse $M_{ES}A$.

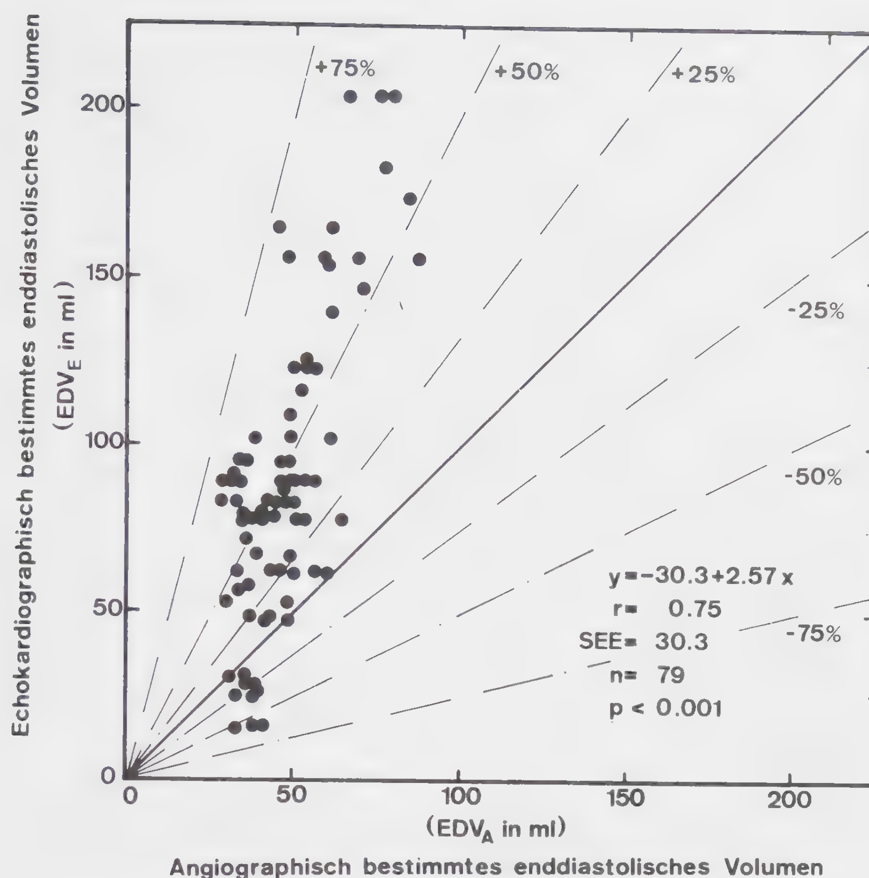


Abb. 7: Vergleich der echokardiographisch (EDV_E) und angiokardiographisch (EDV_A) bestimmten enddiastolischen Volumina.

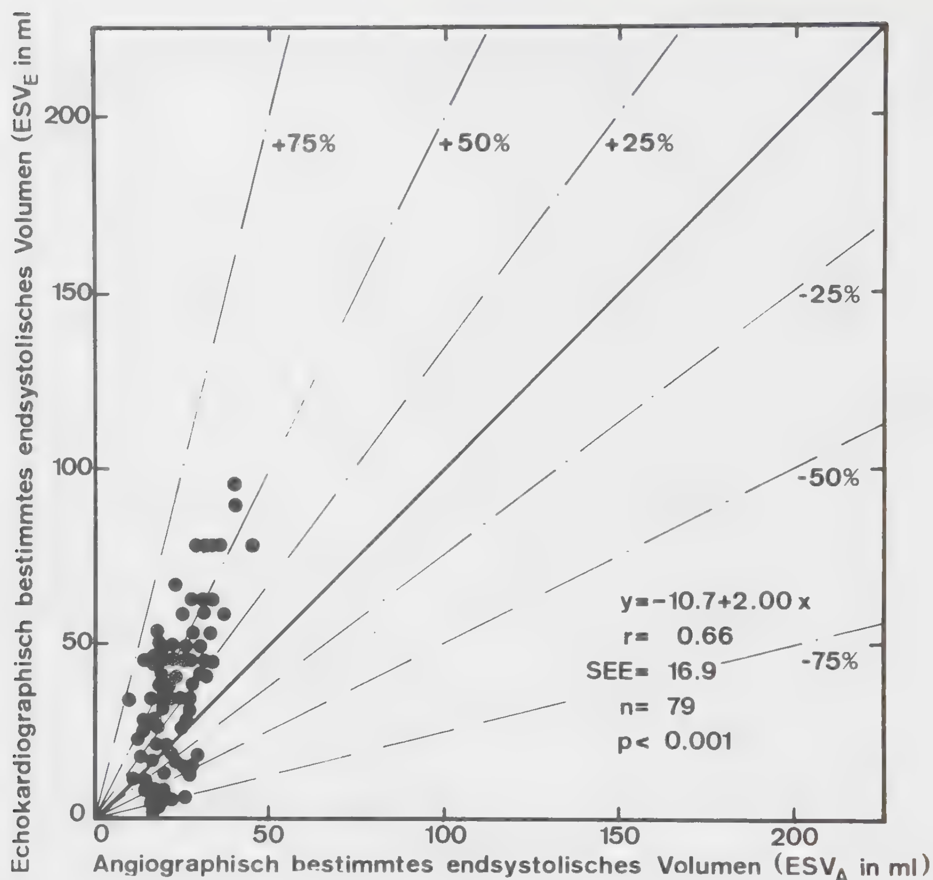


Abb. 8: Vergleich der echokardiographisch (ESV_E) und angiokardiographisch (ESV_A) bestimmten endsystolischen Volumina.

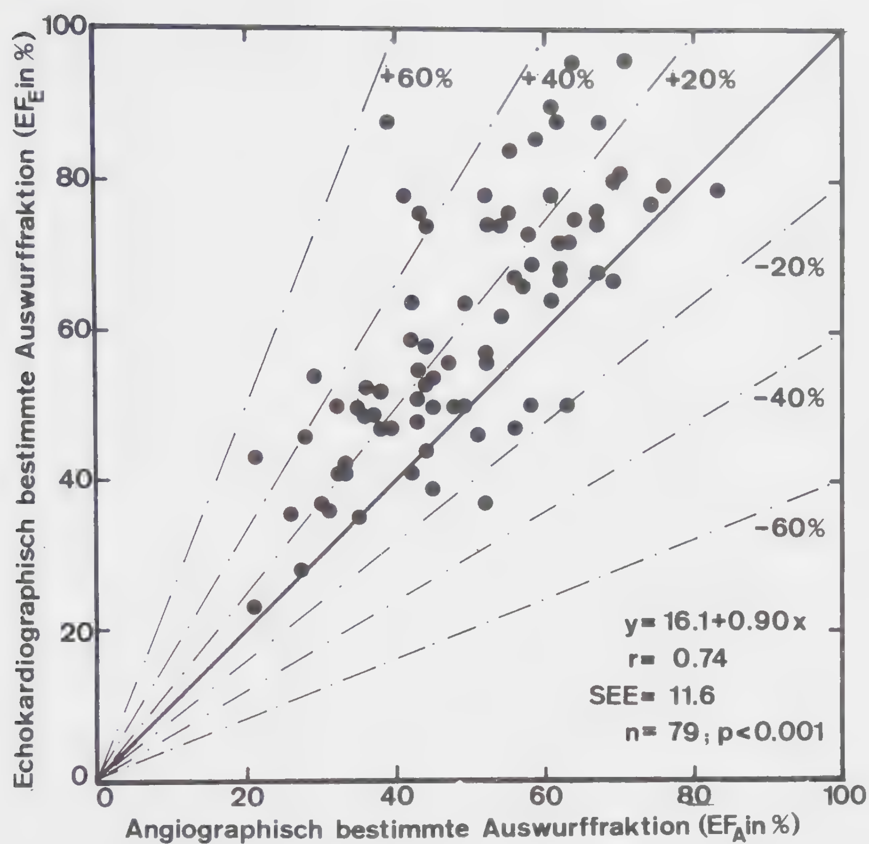


Abb. 9: Vergleich der echokardiographisch (EF_E) und angiokardiographisch (EF_A) bestimmten Auswurffraktion.

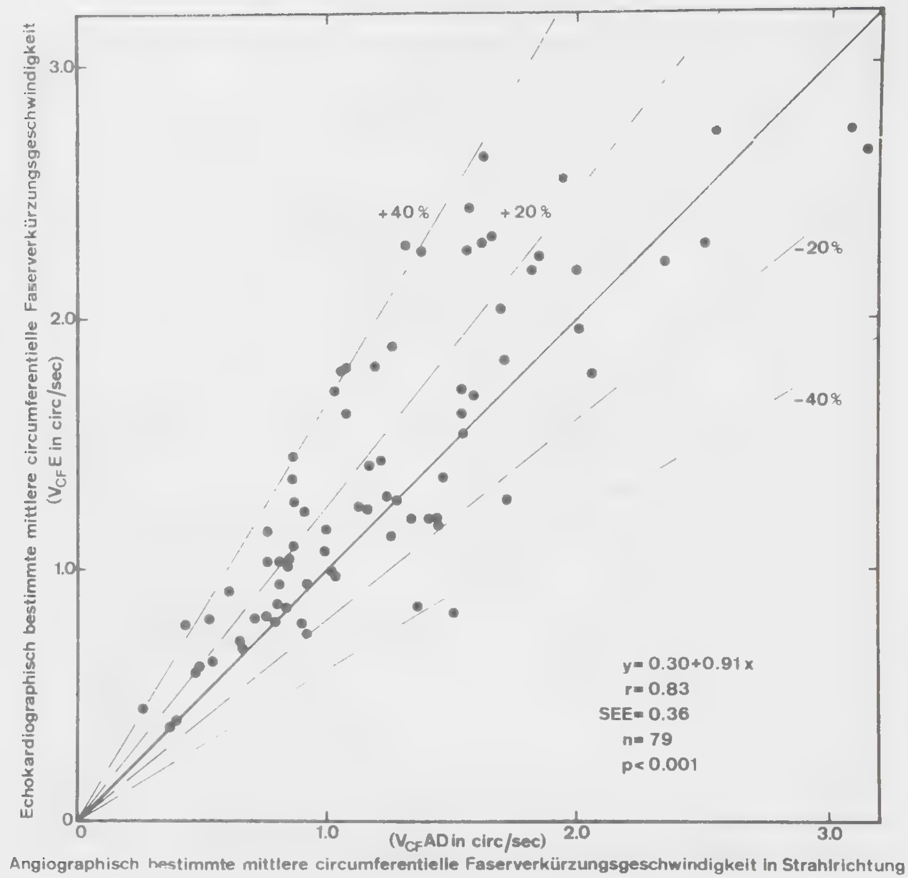
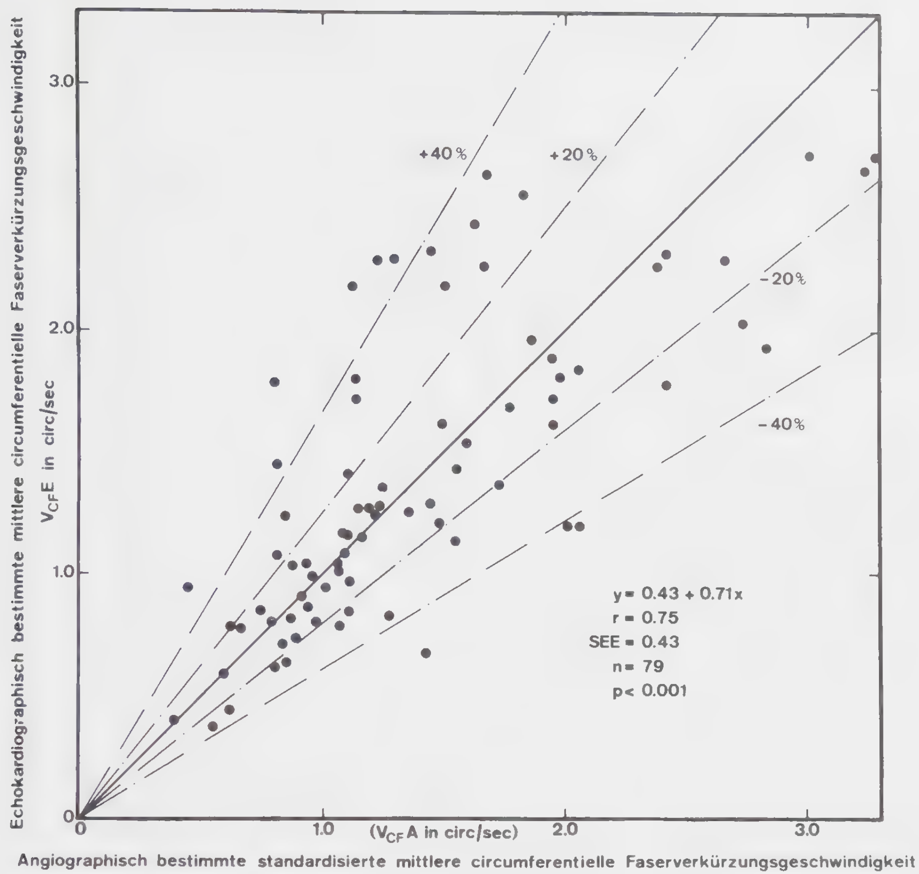


Abb. 10: Vergleich der echokardiographisch ($V_{CF}E$) mit der angiokardiographisch in Strahlrichtung ($V_{CF}AD$) bestimmten systolischen circumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit.



<u>Abb. 11:</u> Vergleich der echokardiographisch ($V_{CF}E$) mit der standardisierten angiokardiographisch ($V_{CF}A$) bestimmten systolischen circumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit.

TABELLE 1 Vergleich der echo- und angiokardiographisch gemessenen linksventrikulären Dimensionen, Volumina und Funktionsgrössen

a) Vergleich der echo- und angiokardiographisch gemessenen Dimensionen

I		II	Mittelwerte (cm) I	Mittelwerte (cm) II	r	SEE (cm)	von 79 Messungen lagen ↓ innerhalb von 0-10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	> 40 %
D_{ED} E	gegen	D_{ED} A	4.3	4.2	0.95	0.25	68	10	1	-	-
D_{ES} E	gegen	D_{ES} A	3.1	3.2	0.87	0.38	53	16	5	3	2
D_{ED} E	gegen	M_{ED} A	4.3	4.2	0.54	0.65	37	27	12	3	-
D_{ES} E	gegen	M_{ES} A	3.1	3.0	0.46	0.69	22	22	25	6	4

b) Vergleich der echo- und angiokardiographisch bestimmten Ventrikelvolumina

I		II	Mittelwerte (ml) I	Mittelwerte (ml) II	r	SEE (ml)	0-25 %	25-50 %	50-75 %
EDV_E	gegen	EDV_A	90.6	47.0	0.75	30.3	14	28	37
ESV_E	gegen	ESV_A	35.8	23.2	0.66	16.9	13	31	35

c) Vergleich der echo- und angiokardiographisch bestimmten Ventrikelfunktionsparameter

I		II	Mittelwerte I	Mittelwerte II	r	SEE	0-20 %	20-40 %	> 40 %
EF_E	gegen	EF_A	60.7 (%)	49.5 (%)	0.74	11.6 (%)	44	29	6
V_{CF} E	gegen	V_{CF} AD	1.43 (circ/sec)	1.24 (circ/sec)	0.83	0.36 (circ/sec)	53	19	7
V_{CF} E	gegen	V_{CF} A	1.43 (circ/sec)	1.40 (circ/sec)	0.75	0.43 (circ/sec)	46	24	9

TABELLE 2

* Regressionsformel

Autor	Untersuchung innerhalb von	Cinéangio-kardiographie	Durchmesser enddiast.	Durchmesser endsyst.	Volumina enddiast.	Volumina endsyst.	V_{CF}	EF
Pombo et al. 1971 (21)	± 8 h	biplan	r = 0.97	r = 0.97	r = 0.97 SEE = 27.8	r = 0.97 SEE = 23.6	∅	r = 0.80 SEE = 9%
Fortuin et al. 1971 (10)	± 24 h	biplan	r = 0.87 SEE = 0.51cm	r = 0.85 SEE = 0.57cm	r = 0.84* SEE = 70 ml	r = 0.85* SEE = 44 ml	∅	r = 0.81 SEE = 7%
Murray et al. 1972 (19)	± 1 h	biplan	r = 0.87 SEE = ?	∅	r = 0.81 SEE = ?	r = 0.65 SEE = ?	∅	∅
Feigenbaum et al. 1972 (8)	? nicht simultan	biplan	∅	∅	r = 0.90 SEE = ?	r = 0.81 SEE = ?	∅	∅
Cooper et al. 1972 (5)	± 24 h	biplan	∅	∅	∅	∅	r = 0.81 SEE = ?	r = 0.83 SEE = ?
Ludbrook et al. 1973 (18)	± 24 h	biplan	∅	∅	r = 0.70 SEE = ?	∅	r = 0.61 SEE = ?	r = 0.64 SEE = ?
Gibson 1973 (12)	24 - 72 h	biplan	∅	∅	r = 0.96 r = 0.91 SEE = 61 ml	r = 0.96	∅	r = 0.76 SEE = ?
ten Cate et al. 1974 (23)	± 24 h	monoplan	∅	∅	r = 0.97 SEE = 10.7ml	r = 0.96 SEE = 8.3ml	∅	r = 0.79 SEE = 8%

Literatur:

1. Bentivoglio, L.G., L.D. Griffith, A.J. Cuesta, M. Geczy, J.Appl.Physiol. 33, 365 (1972).
2. Bom, N., C.T. Lancée, G. van Zwieten, F.E. Kloster, J. Roelandt, Circulation 48, 1066 (1973).
3. Buetterich, D.W., W. Rafflenbeul, W. Madritsch, H.P. Krayenbühl, Europ.J.Cardiol. 2/3, 299 (1975).
4. Chaitman, B.R., H. De Mots, J.D. Bristow, J. Rösch, S.H. Rahimtoola, Circulation 52, 420 (1975).
5. Cooper, R.H., R.A. O'Rourke, J.S. Karliner, K.L. Peterson, G.R. Leopold, Circulation 46, 914 (1972).
6. Dodge, H.T., H. Sandler, W.A. Baxley, R.R. Hawley, Amer.J.Cardiol. 18, 10 (1966).
7. Feigenbaum, H., J.M. Stone, D.A. Lee, W.K. Nasser, S. Chang, Circulation 41, 615 (1970).
8. Feigenbaum, H., R.L. Popp, S.B. Wolfe, B.L. Troy, J.F. Pombo, C.L. Haine, H.T. Dodge, Arch.Intern.Med. 129, 461 (1972).
9. Feigenbaum, H., Echocardiography, p. 216 Lea & Febiger, Philadelphia 1972.
10. Fortuin, N.J., W.P. Hood Jr., E. Sherman, E. Craige, Circulation 44, 575 (1971).
11. Gehrke, J., S. Leemann, M. Raphael, R.B. Pridie, Br.Heart J. 37, 911 (1975).
12. Gibson, D.G., Br.Heart J. 35, 128 (1973).
13. Gramiak, R., R.C. Waag, Cardiac Ultrasound C.V. Mosby Company, Saint Louis, 1975
14. Griffith, J.M., W.L. Henry, Circulation 49, 1147 (1974).
15. Karliner, J.S., J.H. Gault, D. Eckberg, C.B. Mullins, J. Ross Jr., Circulation 44,323 (1971).
16. Kloster, F.E., J. Roelandt, F.J. ten Cate, N. Bom, P.G. Hugenholtz, Circulation 48, 1075 (1973).

17. Linhart, J.W., G.S. Mintz, B.L. Segal, K. Nobuyoshi, M.N. Kotler
Amer.J.Cardiol. 36, 114 (1975).
18. Ludbrook, P., J.S. Karliner, K. Person, G. Leopold, R.A. O'Rourke
Br.Heart J. 35, 1026 (1973).
19. Murray, J.A., W. Johnston, J.M. Reid,
Amer.J.Cardiol. 30, 252 (1972).
20. Paraskos, J.A., W. Grossman, S. Saltz, J.E. Dalen, L. Dexter,
Circ.Res. 29, 610 (1971).
21. Pombo, J.F., B.L. Troy, R.O. Russel,
Circulation 43, 480 (1971).
22. Quinones, M.A., W.H. Gaasch, J.K. Alexander,
Circulation 50, 42 (1974).
23. Ratshin, R.A., C.E. Rackley, R.O. Russel Jr.,
Circ.Res. 34, 711 (1974).
24. Roelandt, J., F.E. Kloster, F.J. ten Cate, W.G. van Dorp,
J. Honkoop, N. Bom, P.G. Hugenholtz,
Br.Heart J. 36, 29 (1974).
25. Seabra-Gomes, R., R. Sutton, A. Rickards,
7th European Congress of Cardiology, Amsterdam 1976, Abstract
Book I, p. 235.
26. Snedecor, G.W., W.G. Cockran, Statistical methods
Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA, 1967.
27. Steiger, U., H.P. Krayenbühl, H.H. Brunner, M. Schönbeck,
W. Rutishauser,
Schweiz.med.Wschr. 103, 1778 (1973).
28. Teichholz, L.E., T. Kreulen, M.V. Herman, R. Gorlin,
Amer.J.Cardiol. 37, 7 (1976).
29. Ten Cate, F.J., F.E. Kloster, W.G. van Dorp, G.T. Meester,
J. Roelandt,
Br.Heart J. 36, 737 (1974).
30. Wells, P.N.T.,
Academic Press, London, New York 1969.

CURRICULUM VITAE

Geboren am 29.12.1944 als 1. von 2 Kindern der Irmgard, geborene Künzli, und des Heinrich Hans Brunner, Bücherexperte, von Olten/SO. Matura Typus A 1964 an der Kantonsschule in Aarau. Vorklinisches Studium in Basel, klinische Semester in Zürich, Staatsexamen 1971. Anschliessend Postgraduate Kurs in Biologie und Medizin an der Universität Zürich und Tätigkeit als Assistent an der Neurologischen Klinik des Kantonsspitals Zürich. Seit 1.10.72 Assistent an der Medizinischen Poliklinik des Kantonsspitals Zürich, zuerst auf der Abteilung für Kardiologie (bis 1974), dann auf der Abteilung für Angiologie (bis Ende 1975). Seit 1976 an der Medizinischen Klinik des Stadtspital Triemli in Zürich.